

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-064326

(43)Date of publication of application : 05.03.1999

(51)Int.Cl.

G01N 33/20

(21)Application number : 09-228046

(71)Applicant : BABCOCK HITACHI KK

(22)Date of filing : 25.08.1997

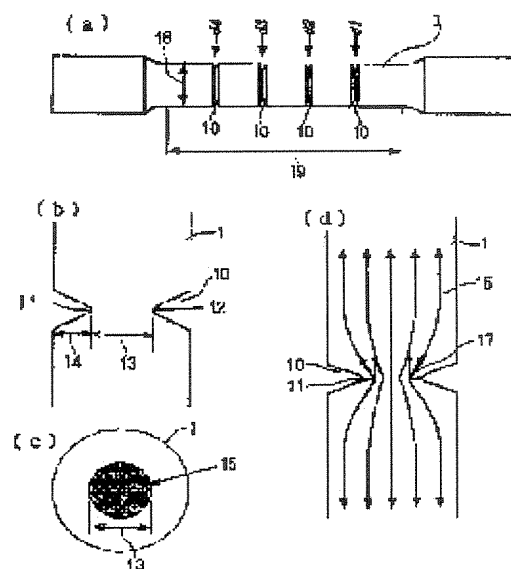
(72)Inventor : KOYAMA TERUO

(54) METHOD FOR EVALUATING CREEP DAMAGE OF WELD OF HIGH-CR FERRITE STEEL

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a highly reliable method by which the creep damage of a fine grain area in the welding heat-affected part of an actually damaged material can be evaluated, by manufacturing a damaged material which has the same creep damage as that of the actually damaged material without using any large-scaled testing device, preparing a calibration curve with which the creep damage of the damaged material can be evaluated with accuracy, and evaluating the creep damage of the fine grain area based on the curve.

SOLUTION: In a method for evaluating creep damage of weld of high-Cr ferrite steel, (1) a material which reproduces a fine grain area in the welding heat-affect part of a damaged material is produced, (2) a creep rupture specimen having two or more notches 10 is prepared by working the material, and (3) the creep damage factor in a bottom 11 of each notch 10 in the other part than a ruptured part is calculated through creep rupture tests using a uniaxial load. Then (4) the relation between the states (the intergranular cavity forming amount, etc.), of micro-textures in the cross sections of the bottoms 11 of the notches 10 in the ruptured part and the other part than the ruptured part and the creep damage factors is found, and a calibration curve for evaluating creep damage is prepared from the found relation. Finally, the creep damage of the weld of high-Cr ferrite steel is evaluated based on the calibration curve.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-64326

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月5日

(51) IntCl.⁶

G 0 1 N 33/20

識別記号

F I

G 0 1 N 33/20

N

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-228046

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月25日

(71) 出願人 000005441

バブコック日立株式会社

東京都港区浜松町二丁目4番1号

(72) 発明者 小山 輝夫

広島県呉市宝町3番36号 バブコック日立

株式会社呉研究所内

(74) 代理人 弁理士 中村 純之助

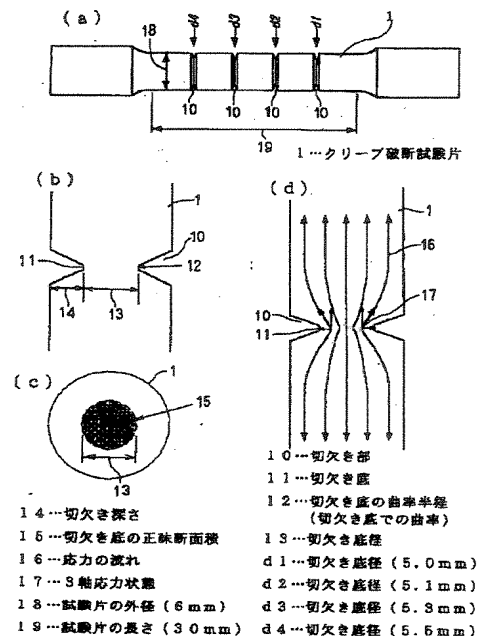
(54) 【発明の名称】 高Crフェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法

(57) 【要約】

【課題】大掛かりな試験装置を用いることなく、実機と同じクリープ損傷形態の損傷材を簡易な方法で作製し、その損傷材よりクリープ損傷を精度良く評価できる検定曲線を作成し、それに基づいて溶接熱影響部細粒域のクリープ損傷を評価の信頼性の高い高Crフェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法を提供する。

【解決手段】(1) 溶接熱影響部細粒域の再現材を作製する過程と、(2) 再現材を加工して、2箇所以上の位置に複数の切欠き部を入れたクリープ破断試験片を作製する過程と、(3) 単軸荷重でのクリープ破断試験により破断部以外の各切欠き底のクリープ損傷率を算出する過程と、(4) クリープ破断部分および破断部分以外の切欠き底断面のミクロ組織の状態(粒界キャビティ生成量等)とクリープ損傷率の関係を求め、それからクリープ損傷評価用の検定曲線を作成し、それに基づいて高Crフェライト鋼溶接部のクリープ損傷の評価を行う。

図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】焼戻しマルテンサイト単相組織からなる高Crフェライト鋼の溶接熱影響部細粒域のクリープ損傷を評価する方法であって、(1)高Crフェライト鋼の溶接熱影響部細粒域と同等であるマイクロ組織と機械的性質を与える熱サイクルにより、上記溶接熱影響部細粒域の再現材を作製する過程と、(2)上記再現材を加工して、平行部が丸棒で、該平行部の2箇所以上の位置に、切欠き底の曲率半径が同じで、切欠き底の深さが異なる複数の切欠き部を設けたクリープ破断試験片を作製する過程と、(3)上記クリープ破断試験片について、単軸荷重でのクリープ破断試験を行い、クリープ破断部以外の各切欠き底のクリープ損傷率を、切欠き底の正味断面積と上記クリープ破断試験片のクリープ破断データから算出する過程と、(4)上記クリープ破断試験片のクリープ破断部および該破断部以外の切欠き底の断面部におけるマイクロ組織の状態と上記クリープ損傷率の関係を求め、それからクリープ損傷評価用の検定曲線を作成し、該検定曲線に基づいて、高Crフェライト鋼の溶接熱影響部細粒域のクリープ損傷を評価する過程を含むことを特徴とする高Crフェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法。

【請求項2】請求項1において、(4)上記クリープ破断試験片のクリープ破断部および該破断部以外の切欠き底の断面部のマイクロ組織の観察により粒界キャビティ生成量を測定し、該キャビティ生成量と上記クリープ損傷率の関係を求め、それからクリープ損傷評価用の検定曲線を作成し、該検定曲線に基づいて、高Crフェライト鋼の溶接熱影響部細粒域のクリープ損傷を評価する過程を含むことを特徴とする高Crフェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法。

【請求項3】請求項1または請求項2において、溶接熱影響部細粒域と同等のマイクロ組織と機械的性質を与える熱サイクルは、最高加熱温度を A_{c1} 変態点と A_{c3} 変態点との間とすることを特徴とする高Crフェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法。

【請求項4】請求項1または請求項2において、複数箇所設けた切欠き部と切欠き部との間隔を5mm以上とすることを特徴とする高Crフェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法。

【請求項5】請求項1または請求項2において、切欠き底の曲率半径を0.5～2mmの範囲内とすることを特徴とする高Crフェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ボイラ等の高温高圧部位に使用されるマルテンサイト組織の高Crフェライト鋼の溶接熱影響部のクリープ損傷を評価する方法に係り、特に実機と同じ損傷形態の損傷材を簡便な方法で

作製し、この損傷材からクリープ損傷を評価するための検定曲線を作成し、この検定曲線を用いて精度良くクリープ損傷を評価する信頼性の高いクリープ損傷評価方法に関する。

【0002】

【従来の技術】火力発電プラントや化学プラント等の高温・高圧下で長時間使用される機器では、運転中に使用材料がクリープ、疲労あるいは時効損傷を受け、材質が劣化することはよく知られている。このような材質劣化は使用材料のメタル温度、作用する応力および使用時間によって支配されるものであり、火力発電用ボイラでは、これらの支配因子を考慮し、通常の場合、10万時間程度の寿命を持つように設計されている。しかし、近年、設計寿命を超えて運転されているボイラも多くなっており、また、運転時間が10万時間以内であっても高温の燃焼ガスの偏流等によるメタル温度の上昇や、材料中の偏析等起因する異常な材質劣化が原因して材料が破損する事故も生じている。このような背景から、材料の余寿命を的確に予測し、部分的な取替えや補修を計画的に行うことによって、プラントとしての寿命を延長するための技術の開発が重要となっている。特に、長時間使用された高温機器ではクリープ損傷が進行しており、クリープ損傷に対する評価が重要な課題となっている。従来の使用材料は、Cr含有量が2.25%以下のフェライト系耐熱鋼が主体であったが、最近では高温強度を改善したCr含有量が9%以上の高Crフェライト鋼が使用されており、これらの材料についても余寿命評価方法を確立する必要性が生じている。従来のフェライト鋼は、フェライト・パーライト組織またはフェライト・ベーナイト組織であるのに対し、高Crフェライト鋼では焼戻しマルテンサイト単相組織となるものがほとんどである。この焼戻しマルテンサイト単相組織の高Crフェライト鋼の溶接部では、溶接熱により A_{c1} 変態点と A_{c3} 変態点との間で加熱された細粒のマイクロ組織を有する溶接熱影響部（以下、HAZと言う）である軟質の細粒域が形成されクリープ破断強度が低下するという問題が生じる。高温高圧部位に、この高Crフェライト鋼が使用される場合にはHAZ細粒域が最弱点部位となるため、この部分のクリープ損傷評価方法が重要な課題となる。クリープ損傷を評価する方法には、破壊法、非破壊法および応力解析法があるが、実機部材そのものを評価し、しかも簡便であることから非破壊法により損傷を評価することが多い。非破壊法の中でも、実機表面の金属組織をレプリカ膜に写し取り、粒界キャビティ（窪み）の生成量や結晶粒の変形等の金属組織の変化により損傷の度合を評価するレプリカ法が主流となっている。このレプリカ法により、クリープ損傷を評価するための検定曲線（マスタカーブ）を作成するためには、その材料のクリープ破断および中断材（クリープ破断まで試験をせず、その途中で試験を中断してクリープ損傷率を求める材

料)を作製し、その材料の金属組織等の変化を調べ、クリープ損傷率との関係を求める必要がある。例えば、ある条件でクリープ破断試験を行った場合、1000時間で破断したとすると、破断まで試験した材料は「破断材」となる。これに対し、同じ条件でクリープ破断試験を行い、破断前に試験を中断すると「中断材」となる。いま、800時間で試験を中断した場合には、クリープ損傷率は80% (クリープ損傷率=試験時間/破断時間) となり、これら試験片の金属組織等を調査することにより、クリープ損傷率との関係を明らかにすることができる。この場合のクリープ破断および中断試験には、平滑な丸棒試験片が用いられるが、高Crフェライト鋼の溶接継手のクリープ破断試験を単軸で行うと、上記の最弱点部位であるHAZ細粒域で破断する。しかし、通常は、破断時の絞りが大きく、その部位のミクロ組織を調べると粒界キャビティはほとんど観察されない。これに対し、ボイラの伝熱管や配管の場合では細かいキャビティがHAZ細粒域に発生し、例えば、図6に示す亀裂のタイプ4 (熱影響部22の細粒域の亀裂) の損傷形態で現われることがよく知られている。なお、図6において、亀裂のタイプ1は溶接金属21の内部の亀裂であり、亀裂のタイプ2は溶接金属21から熱影響部22まで進展した亀裂であり、亀裂のタイプ3は熱影響部22の粗粒域の亀裂である。ボイラの伝熱管や配管として用いられている2.25Cr-1Mo鋼では、単軸で試験しても粒界キャビティが生じる。これはクリープ損傷機構の違いであって、2.25Cr-1Mo鋼では多少の加速試験 (通常、温度または応力を加速して試験する方法) を行っても実機と同様のクリープ損傷機構となるため、粒界キャビティが発生する。高Crフェライト鋼では、これまでの試験結果によると、実機と同等の低応力状態か、もしくは3軸応力状態 [図1 (d) 参照] でなければ粒界キャビティは発生することなく、大きく絞られて破断する。同じ高Crフェライト鋼の溶接部でありながら、ボイラの伝熱管や配管等の実機材と、単軸試験による平滑な丸棒試験片で損傷形態が異なるのは、応力状態の差異によるものであると考えられる。すなわち、実機では3軸応力状態になるため変形が拘束され、結晶粒界の滑りが主体でクリープ損傷が進行し、結晶粒界に微細なキャビティが発生する。これに対し、平滑な丸棒試験片では変形が拘束されないために、非常に低応力の試験を除いて絞りが大きくなる。この場合には、結晶粒界の滑りは少なくなり、結晶粒内の変形が主体となったクリープ損傷が進行するので粒界キャビティはほとんど発生しない。したがって、実験室的に実機と同様の損傷形態を作るためには3軸応力状態で試験をすれば良いことになるが、内圧クリープ試験 [伝熱管のままで内圧 (蒸気) をかけてクリープ破断試験する方法で、試験片は300mm長さが標準。] や、多軸のクリープ試験 [例えば、試験片に2軸または3軸の応力が負荷できる

試験方法 (内圧クリープも多軸試験の一種)、また、十字試験片による2方向の引張り、丸棒試験片や内圧試験片での引張り-ねじり等の方法。] を行うには大掛かりな試験装置が必要となり、また検定曲線作成のために多くの試験片を評価する必要があるため、多大の労力、時間およびコストがかかるという問題があった。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、マルテンサイト単相組織よりなる高Crフェライト鋼の溶接熱影響部細粒域のクリープ損傷を評価する方法において、大掛かりな試験装置を必要とすることなく、実機と同じクリープ損傷形態の損傷材を簡便な方法で作製し、その損傷材のクリープ損傷を精度良く評価できる検定曲線を作成し、その検定曲線に基づいて、溶接熱影響部細粒域のクリープ損傷の評価を高精度に行うことができる高Crフェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法を提供することにある。

【0004】

【課題を解決するための手段】上記本発明の目的を達成するために、本発明は特許請求の範囲に記載のような構成とするものである。すなわち、本発明は請求項1に記載のように、焼戻しマルテンサイト単相組織からなる高Crフェライト鋼の溶接熱影響部細粒域のクリープ損傷を評価する方法であって、(1) 高Crフェライト鋼の溶接熱影響部細粒域と同等であるミクロ組織と機械的性質を与える熱サイクルにより、上記溶接熱影響部細粒域の再現材を作製する過程と、(2) 上記再現材を加工して、平行部が丸棒で、該平行部の2箇所以上の位置に、切欠き底の曲率半径が同じで、切欠き底の深さが異なる複数の切欠き部を設けたクリープ破断試験片を作製する過程と、(3) 上記クリープ破断試験片について、単軸荷重でのクリープ破断試験を行い、クリープ破断部以外の各切欠き底のクリープ損傷率を、切欠き底の正味断面積と上記クリープ破断試験片のクリープ破断データから算出する過程と、(4) 上記クリープ破断試験片のクリープ破断部および該破断部以外の切欠き底の断面部におけるミクロ組織の状態と上記クリープ損傷率の関係を求め、それからクリープ損傷評価用の検定曲線を作成し、該検定曲線に基づいて、高Crフェライト鋼の溶接熱影響部細粒域のクリープ損傷を評価する過程を含む高Crフェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法とするものである。上記請求項1に記載のように、クリープ破断試験片 (単軸試験片) に、切欠き部を入れることにより、切欠き底では3軸応力状態を作ることができるので、切欠き底では変形が拘束され、高Crフェライト鋼溶接熱影響部細粒域において、実機の配管等と同様に結晶粒界が滑り細かい粒界キャビティ等を発生するクリープ損傷材を簡易に作製することができ、大掛かりで高価な試験装置を必要とすることなく、精度良く、かつ経済的にクリープ損傷を評価することができる。また、HAZ細粒

域を模擬した HAZ 細粒域の再現部に、切欠き深さの異なる切欠き部を 2 箇所以上設けることができ、1 本のクリープ試験片で 100% 損傷材（破断材）の他に、損傷率の異なる複数の損傷材を高精度に作製することができるので、一つの試験片で少なくとも 2 点以上の複数のクリープ損傷率に関するデータが得られ、信頼性の高い高 Cr フェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法を実現できる効果がある。また、本発明は請求項 2 に記載のように、請求項 1 において、(4) 上記クリープ破断試験片のクリープ破断部および該破断部以外の切欠き底の断面部のミクロ組織の観察により粒界キャビティ生成量を測定し、該キャビティ生成量と上記クリープ損傷率の関係を求め、それからクリープ損傷評価用の検定曲線を作成し、該検定曲線に基づいて、高 Cr フェライト鋼の溶接熱影響部細粒域のクリープ損傷を評価する過程を含む高 Cr フェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法とするものである。上記請求項 2 に記載のように、クリープ破断試験片のクリープ破断部および該破断部以外の切欠き底の断面部のミクロ組織の観察により、特に粒界キャビティ生成量を測定して、クリープ損傷率との関係を示す検定曲線によりクリープ損傷の評価を行うことができるので、極めて精度の高い高 Cr フェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価を行える効果がある。また、本発明は請求項 3 に記載のように、請求項 1 または請求項 2 において、溶接熱影響部細粒域と同等のミクロ組織と機械的性質を与える熱サイクルは、最高加熱温度を A_{c1} 変態点と A_{c3} 変態点との間とする高 Cr フェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法とするものである。上記請求項 3 に記載のように、最高加熱温度を高 Cr フェライト鋼の A_{c1} 変態点と A_{c3} 変態点との間とするので、実機と同等の高 Cr フェライト鋼溶接熱影響部細粒域を再現することができ、精度の高い高 Cr フェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価を行える効果がある。また、本発明は請求項 4 に記載のように、請求項 1 または請求項 2 において、複数の箇所設けた切欠き部と切欠き部との間隔を 5 mm 以上とする高 Cr フェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法とするものである。上記請求項 4 に記載のように、隣接する切欠き部との間隔を 5 mm 以上離しているので、切欠きによる応力場の乱れが互いに干渉することがないので、正確なクリープ損傷データが得られる効果がある。また、本発明は請求項 5 に記載のように、請求項 1 または請求項 2 において、切欠き底の曲率半径を 0.5 ~ 2 mm の範囲内とする高 Cr フェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法とするものである。上記請求項 5 に記載のように、切欠き底の曲率半径を 0.5 ~ 2 mm の範囲内とすることにより、切欠き底での極端な応力の集中が緩和でき、切欠き効果による強度の低下がなく、また 3 軸応力状態を有効に保つことができる効果がある。

【0005】本発明の高 Cr フェライト鋼の溶接熱影響

部細粒域のクリープ損傷を評価するための検定曲線の作成方法において、まず、高 Cr フェライト鋼の HAZ（溶接熱影響部）細粒域を模擬した再現材を作製する。この場合の上記再現材の加熱温度は、その材料の A_{c1} 変態点と A_{c3} 変態点との間の温度に設定する。次に、図 1 (a) に示すように、一般的に使用されている丸棒のクリープ破断試験片 1 を作製し、そのクリープ破断試験片 1 の丸棒の平行部に少なくとも 2 箇所以上、切欠き底 11 の曲率半径が一定で、切欠き深さ 14 の異なる切欠き底径 13 が d1 (5.0 mm)、d2 (5.1 mm)、d3 (5.3 mm)、d4 (5.5 mm) である切欠き部 10 を設ける。上記のクリープ破断試験片 1 を、単軸荷重でクリープ破断試験を行い、破断位置の切欠き部 10 のクリープ損傷率を 100%、その他の切欠き部 10 の損傷率を、同じ材料の溶接継手クリープ破断データと、切欠き底の正味断面積 15 [図 1 (b)、(c)] から求める。次に、切欠き底近傍のミクロ組織から発生したキャビティ個数 (個/mm²) を調べ、クリープ損傷率 (%) を算出して、このキャビティ個数 (個/mm²) とクリープ損傷率 (%) の関係からクリープ損傷を評価するための検定曲線を作成する。図 1 (d) に示すように、クリープ破断試験片 (単軸試験片) 1 に、切欠き部 10 を入れることにより、切欠き底 11 では 3 軸応力状態 17 を作ることができる [図 1 (d)]。すなわち、切欠き部 10 により引張り軸方向の応力の流れ 16 が乱され、他の方向の応力成分も発生し、切欠き底 11 では 3 軸応力状態 17 となる。したがって、切欠き底 11 では変形が拘束され、実機の配管等と同様に結晶粒界が滑り細かいキャビティが発生する。また、HAZ 細粒域を模擬した HAZ 細粒域の再現部に、切欠き深さ 14 の異なる切欠き部 10 を 2 箇所以上設けることにより、1 本の試験片で 100% 損傷材の他に、損傷率の異なる損傷材を作製することができ、1 本のクリープ破断試験片 1 で少なくとも 2 点以上のクリープ損傷率に関するデータを得ることができる。

【0006】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について、図を用いてさらに詳細に説明する。供試材は、マルテンサイト単相組織の高 Cr フェライト鋼の中でも最も一般的で、火力技術基準においても規格化されている、Mod. 9 Cr-1Mo 鋼配管用材料 (火 STPA28) を用いた。この材料は、重量%で、9%Cr-1%Mo に、Nb、V を添加して高温強度を高めており、600℃での許容応力は、ステンレス鋼 SUS304 と同等以上である。この材料から、図 2 (a) に示すような形状のサンプルを採取し、HAZ 細粒域を模擬した HAZ 再現材を作製し、HAZ 再現試験片 2a とした。本供試材の A_{c1} 変態点は 830℃、 A_{c3} 変態点は 920℃であり、図 3 に示すように、最高加熱温度が 880℃となるような熱サイクルを高周波加熱装置により与えた。HAZ 再現試

試験片2aの平行部に3箇所の熱電対3を設け、熱サイクル時における温度測定の結果、温度のばらつきは $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内であった。上記の条件で作製したHAZ再現試験片2aを、実際の溶接条件と同等の、 $740^{\circ}\text{C}\times 1$ 時間の条件で後熱処理を施した後、図1(a)に示すような、クリーブ破断試験片1を作製した。この試験片1の平行部は、外径6mm、長さ30mmで、この平行部に4箇所の切欠き部を設けた。切欠き底径13は、d1で5mm、d2で5.1mm、d3で5.3mm、d4で5.5mmとした。このような試験片1を用いて、切欠き底径13のd1での正味断面応力が59MPa、温度650 $^{\circ}\text{C}$ でクリーブ破断試験を行った。切欠き底径d1での破断時間は1120時間であり、上記HAZ再現試験片の材料と同じチャージの材料を用いて試験した溶接継手クリーブ破断試験結果から、各切欠き部でのクリーブ損傷率(クリーブ試験時間/クリーブ破断時間)を算出した。なお、具体的な切欠き部でのクリーブ損傷率の算出は、以下の手順で行った。

(1) 対象とする材料の溶接継手クリーブ破断試験片からクリーブ破断データの回帰曲線を求める〔図4(a)〕。

(2) 次に、上記(1)の回帰曲線を、切欠き付きHAZ再現試験片のクリーブ破断結果まで平行移動させる〔図4(b)〕。この溶接継手クリーブ破断データの回帰曲線をHAZ再現試験片のクリーブ破断データまで平行移動するのは、溶接継手の材料とHAZ再現材料とは*

表 1

部位	切欠き底径 mm	試験温度 $^{\circ}\text{C}$	正味応力 MPa	(予想) 破断時間 h	クリーブ 損傷率 %
d1	5.0	650	59	1120	100
d2	5.1		57	1308	86
d3	5.3		52	1713	65
d4	5.5		49	2134	52

【0008】次に、切欠き底の断面のミクロ組織を調査した。その結果、いずれの切欠き底にもキャビティが発生しており、その割合は、クリーブ損傷率が大きくなるほど増加の傾向にあった。そこで、単位面積当たりのキャビティ個数(個/ mm^2)を測定し、クリーブ損傷率(%)との関係を求めた。その結果を図5に示す。図から明らかなように、クリーブ損傷率の増加と共に、単位面積当たりのキャビティ個数が増加していることが分かる。キャビティの発生状況は、実機と同様の細かいキャビティであり、本実施の形態においては実機の損傷形態を模擬していることを確認できた。なお、本実施の形態では、試験片の切欠き底の曲率半径を1mmとしたが、この曲率半径が小さ過ぎると応力の集中が厳しくなり、

* 同じチャージの材料を用いるので、破断データのばらつきは小さくなるものと考え、クリーブ破断カーブの傾きは同等になるものと仮定した。

(3) 次に、クリーブ破断部(d1=5.0mm)以外の切欠き底径[d2=5.1、d3=5.3、d4=5.5mm]から各切欠き部における応力(=荷重/切欠き底の正味断面面積)を算出し、上記HAZ再現試験片のクリーブ破断データまで平行移動させた回帰曲線により予想のクリーブ破断時間を算出した〔図4(c)〕。

(4) 次に、クリーブ破断時間[d1=5.0mmにおける破断時間t1は、1120時間]と予想のクリーブ破断時間〔図4(c)における各切欠き部での予想の破断時間t2(d2)、t3(d3)、t4(d4)で、表1からt2=1308時間、t3=1713時間、t4=2134時間〕との関係からクリーブ損傷率を算出する。すなわち、各切欠き部でのクリーブ損傷率(%)=(t1/ti)は、d1では1120/1120=100%、d2では1120/1308=86%、d3では1120/1713=65%、d4では1120/2134=52%となる。以上の結果を表1にまとめて示す。クリーブ損傷率(%)は、切欠き底径がd1の部位で100% (クリーブ破断部)、切欠き底径がd2の部位で86%、d3部位で65%、d4部位で52%となった。

【0007】

【表1】

切欠き効果による強度低下を考慮しなければならなくなる。また、この切欠き底の曲率半径が大き過ぎると、本発明のクリーブ破断試験片の目的である3軸応力状態が保てなくなるため、本発明の試験片の切欠き底の曲率半径の範囲を0.5~2mmに限定した。また、切欠き部を4箇所に入れたが、隣の切欠き部との距離が短すぎると切欠きによる応力場の乱れが互いに干渉するため、少なくとも5mm以上離す必要がある。本実施の形態における効果を確認するために、平滑な丸棒試験片を用いて同条件(650 $^{\circ}\text{C}\times 59\text{MPa}$)でクリーブ破断試験を行った溶接継手の断面を調査した。その結果、切欠き試験片で観察されたような細かいキャビティは観察されず、金属組織中の炭化物や金属間化合物等の介在物の周

りには比較的大きな粒界キャビティが観察されただけであった。

【0009】

【発明の効果】本発明の高Crフェライト鋼溶接部のクリープ損傷評価方法によれば、高Crフェライト鋼溶接熱影響部細粒域において、実機と同様の細かいキャビティが発生するクリープ損傷材を簡易に作製することができ、このクリープ損傷材を用いて作成したクリープ寿命評価用の検定曲線の信頼性が向上する。また、少量のサンプルで多くのクリープ中断材を作製することができ、クリープ損傷評価用の検定曲線を経済的に作成できるので、信頼性の高い溶接熱影響部細粒域のクリープ損傷を容易に行うことが可能となり工業的利用価値は極めて高い。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態において例示したクリープ破断試験片の形状を示す模式図。

【図2】本発明の実施の形態において例示したHAZ再現試験片の形状を示す模式図。

【図3】本発明の実施の形態において例示したHAZ再現時における熱サイクルを示すグラフ。

【図4】本発明の実施の形態において例示したクリープ損傷率を算出する手順を示す図。

【図5】本発明の実施の形態において例示したクリープ損傷率と生成した単位面積当たりのキャビティ個数との関係を示すグラフ。

【図6】溶接部の亀裂の種類を示す模式図。

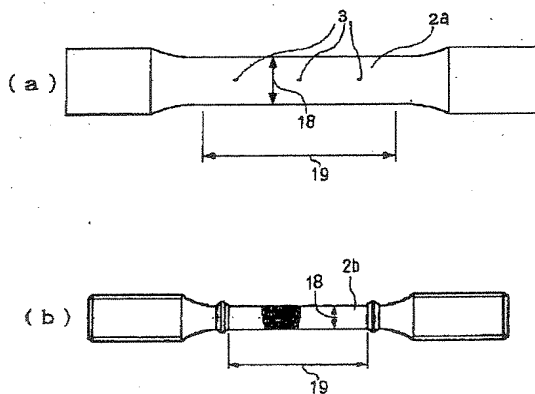
*【符号の説明】

- 1…クリープ破断試験片
- 2a…HAZ再現試験片
- 2b…溶接継手クリープ破断試験片
- 3…熱電対
- 10…切欠き部
- 11…切欠き底
- 12…切欠き底の曲率半径（切欠き底での曲率）
- 13…切欠き底径
- 10 d1…切欠き底径（5.0mm）
- d2…切欠き底径（5.1mm）
- d3…切欠き底径（5.3mm）
- d4…切欠き底径（5.5mm）
- 14…切欠き深さ
- 15…切欠き底の正味断面積
- 16…応力の流れ
- 17…3軸応力状態
- 18…試験片の外径（6mm）
- 19…試験片の長さ（30mm）
- 20 21…溶接金属
- 22…熱影響部
- 23…母材
- 24…亀裂のタイプ1
- 25…亀裂のタイプ2
- 26…亀裂のタイプ3
- 27…亀裂のタイプ4

*

【図2】

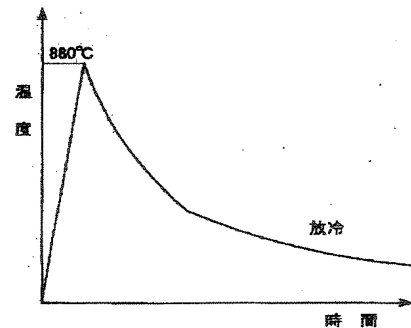
図2



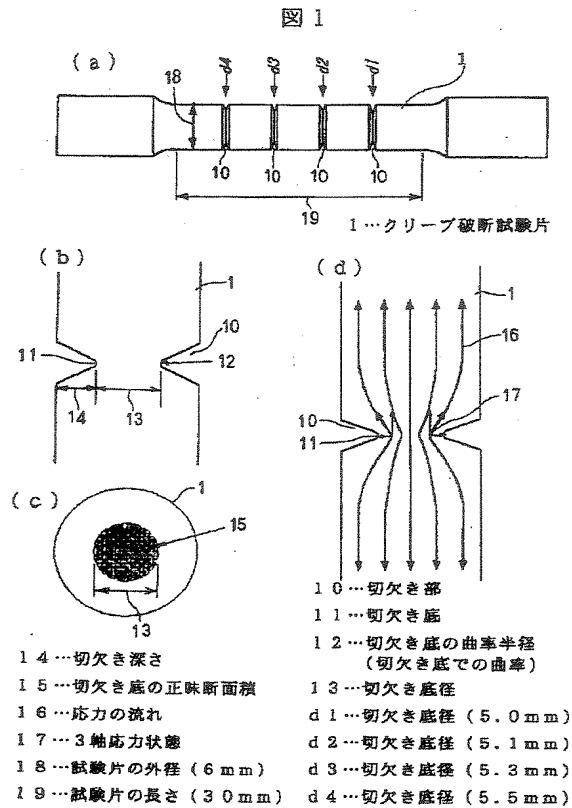
- 2a…HAZ再現試験片
- 2b…溶接継手クリープ破断試験片
- 3…熱電対
- 18…試験片の外径（6mm）
- 19…試験片の長さ（30mm）

【図3】

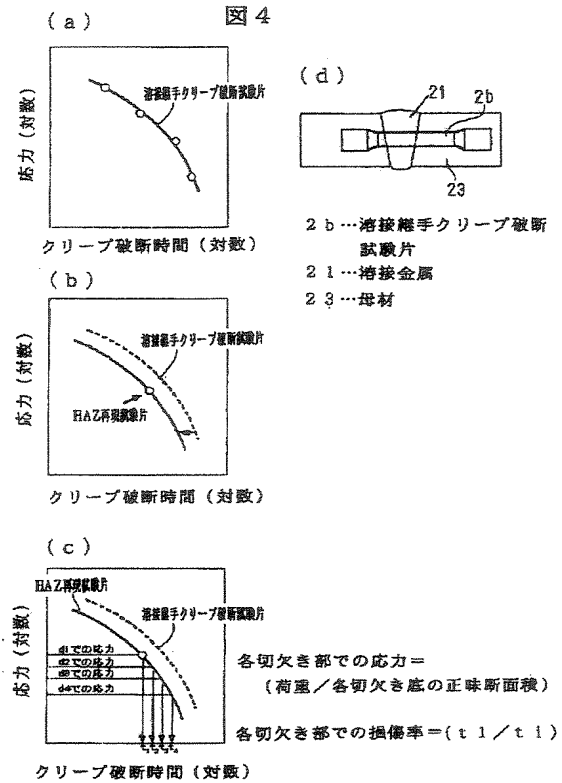
図3



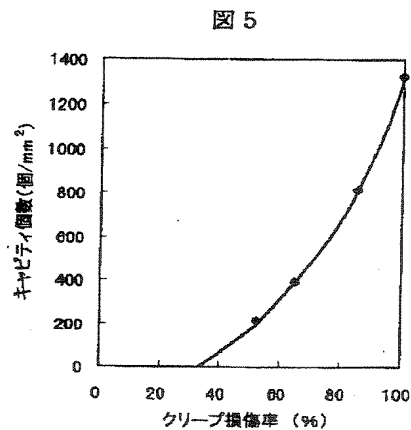
【図1】



【図4】



【図5】



【図6】

